

© Л.Д. Пилипів  
канд. техн. наук  
ІФНТУНГ

## Дослідження впливу термообробки високов'язкої долинської нафти на її реологічні та транспортабельні властивості

УДК 622.692.4

Експериментальним шляхом встановлено, що технологія термообробки суттєво покращує реологічні та транспортабельні властивості високов'язкої швидкозастигаючої долинської нафти. Обґрунтовано оптимальну температуру попереднього підігріву долинської нафти 60 °С, при якій за мінімальних енергозатрат буде досягнуто необхідного рівня розплавлення парафіну. Експериментально встановлено, що оптимальною швидкістю охолодження долинської нафти є 20 °С/год.

**Ключові слова:** нафтопровід, термообробка, термостатування, високов'язка нафта.

Экспериментальным путем установлено, что технология термообработки существенно улучшает реологические и транспортабельные свойства высоковязкой быстроастигающей долинской нефти. Обоснована оптимальная температура предварительного подогрева долинской нефти 60 °С, при которой при минимальных энергозатратах будет достигнут необходимый уровень расплавления парафина. Экспериментально установлено, что оптимальная скорость охлаждения долинской нефти составляет 20 °С/ч.

**Ключевые слова:** нефтепровод, термообработка, термостатирование, высоковязкая нефть.

There has been established by the experiments that the thermal treatment technology significantly improves the rheological and transportability properties of high-viscosity quick-drying Dolynska oil. The optimal preheating temperature of 60°C for the Dolynska oil has been substantiated, at which the required level of paraffin melting is achieved with minimum energy consumption. There has also been experimentally determined that the optimum cooling rate of Dolynska oil is 20 °C/h.

**Key words:** oil pipeline, thermal treatment, thermostating, high-viscosity oil.

Перекачування високов'язких і швидкозастигаючих нафт магістральними трубопроводами може бути реалізоване шляхом застосування ряду спеціальних технологій. Усі вони базуються на різних способах покращення реологічних характеристик та залежних від них транспортабельних властивостей високов'язких нафт. Особливої уваги заслуговує термообробка, за допомогою застосування якої можна суттєво зменшити гідравлічні втрати в трубопроводі і, як наслідок, знизити енергозатрати на перекачування в'язких нафт у діапазоні робочих температур.

Термообробка – один із способів підготовки в'язких нафт і нафтопродуктів для трубопровідного транспорту [1–3]. Нафту або нафтопродукт нагрівають до певної температури, а потім охолоджують відповідно до заданого темпу (для кожного нафтопродукту параметри підбирають індивідуально, експериментальним шляхом). У результаті – різко знижуються ефективна в'язкість і температура застигання, оскільки утворені кристали парафіну плавають у рідині, не з'єднуючись між собою і не утворюючи структурної решітки (а якщо вона й утворюється, то неміцна).

Якщо ефективна в'язкість і температура застигання залишаються низькими упродовж значного часу, то нафту

можна перекачувати по трубопроводу за ізотермічного режиму, як звичайну малов'язку рідину [4].

Великий вплив на реологічні властивості нафт під час термообробки має темп охолодження [3, 4]. Для кожної нафти існує певний темп охолодження, за якого температура застигання, ефективна в'язкість і статичне напруження зсуву є мінімальними. Швидкість охолодження нафти впливає на процес зростання кристалів парафіну. Якщо темп охолодження оптимальний, то утворюються великі кристали парафіну, зібрані в групи, які нерівномірно розкидані по всьому об'єму нафти. Під час зберігання вони випадають в осад. Нетермооброблена чи термооброблена, але охолоджена не з оптимальною швидкістю нафта містить дрібні кристали парафіну. Вони рівномірно розподіляються по всьому об'єму нафти і, з'єднуючись між собою, утворюють міцну структурну решітку, в середині якої знаходиться рідка нафта.

Наявність у нафті асфальто-смолистих речовин загальмовує процес кристалізації парафіну й послаблює утворену структурну решітку: чим більший їх вміст у нафті, тим вищий ефект термообробки.

### Вплив термообробки на реологічні та транспортабельні властивості долинської нафти

В Україні найбільшим родовищем високов'язких нафт є Долинське, високопарафіністу нафту якого жодного разу не піддавали термообробці ні в промислових, ні в дослідних умовах. Оцінити можливість і ефективність застосування технології термообробки для покращення реологічних властивостей долинської нафти можна тільки після ґрунтовних лабораторних досліджень, оскільки, як було вище зазначено, вибір процедури і технології термообробки для кожної конкретної нафти проводиться дослідним шляхом. Тому результати застосування такої технології для інших нафт не можуть бути використані для високов'язкої долинської нафти.

Особливістю фізико-хімічних властивостей та поведінки в статичних і динамічних умовах долинської нафти є достатньо високі значення основних реологічних параметрів за низьких температур. Саме через ці фактори й відбувається погіршення транспортабельних властивостей такої нафти, що суттєво ускладнює її перекачування магістральними трубопроводами та зберігання в резервуарах, насамперед у холодний період року. Для зменшення енергозатрат на транспортування високов'язкої долинської нафти за рахунок зниження гідравлічних втрат у трубопроводі шляхом покращення її реологічних властивостей застосовували ряд технологій (неізотермічне перекачування з підігрівом, використання депресаторів, змішування нафти з розріджувачами). Однак кожен із них мав певні недоліки. Неізотермічне перекачування з підігрівом за достатньо значних енергозатрат на реалізацію технології має доволі обмежений у часі ефект, який знижується разом зі зменшенням температури нафти в трубопроводі. В холодний період року цього часу часто буває недостатньо для перекачування партії долинської нафти єдиним в Україні неізотермічним нафтопроводом із підігрівом Долина–Дрогобич. Застосування депресаторів потребує додаткових затрат на закупівлю присадок, дещо знижує якість транспортованої нафти, а ефект цієї технології має тимчасовий характер. Перекачування високов'язкої нафти в суміші з розріджувачами (малов'язкою нафтою, конденсатом або дизельним паливом) спричиняє до істотної, часто не найкращої, зміни фізико-хімічних властивостей нафти. По суті, отримуємо новий сорт продукту, який має усереднені між в'язкою нафтою і розріджувачем властивості, оскільки частка останнього може в деяких випадках досягати 70 %.

У зв'язку з цим виникла необхідність науково обґрунтувати можливість запровадження на нафтопроводі Долина–Дрогобич такої технології, яка дала б змогу суттєво покращити транспортабельні властивості високов'язкої долинської нафти і при цьому забезпечити максимальний тривалий ефект навіть у холодний період року. З цією метою необхідно експериментальним шляхом дослідити вплив явища термообробки на реологічні і транспортабельні властивості

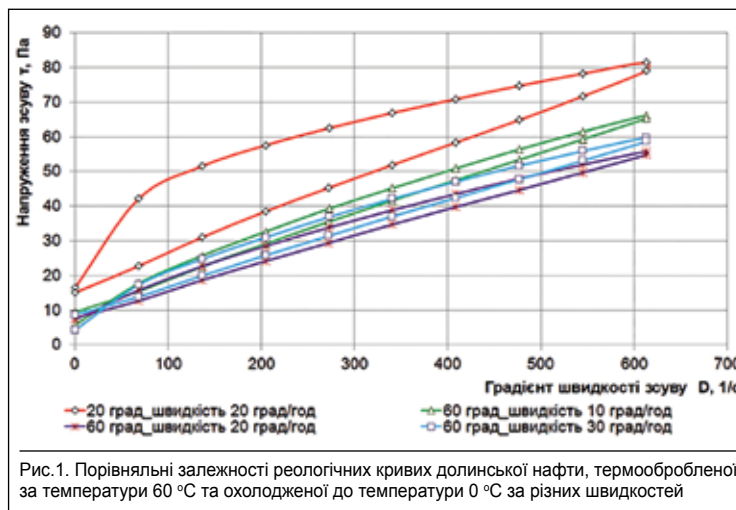


Рис. 1. Порівняльні залежності реологічних кривих долинської нафти, термообробленої за температури 60 °C та охолодженої до температури 0 °C за різних швидкостей

парафіністої долинської нафти та з урахуванням отриманих результатів дати рекомендації щодо подальшого застосування цієї технології.

Достовірність отриманих результатів експериментальних досліджень досягається завдяки застосуванню сертифікованого вимірювального комплексу, до складу якого входять ротаційний віскозиметр Rheotest® 4.1 виробництва фірми Medingen GmbH (Німеччина) та циркуляційний термостат Julabo F25-ME фірми Julabo (Німеччина).

Долинська нафта в діапазоні низьких температур належить до неньютонівських рідин із яскраво вираженими аномальними реологічними властивостями, поведінка яких адекватно описується реологічними моделями Балклі–Гершеля або Шведова–Бінгама. Графічні залежності напруження зсуву від градієнта швидкості зсуву за вказаними моделями характеризуються наявністю гістерезисної петлі між так званим «прямим» і «зворотним» ходом віскозиметра, що відповідає процесу руйнування кристалічної структури нафтового парафіну і процесу відновлення аномальних властивостей нафти на етапі відродження кристалічної ґратки парафіну відповідно. Причому, збільшення висоти графіка і площі петлі вказує на погіршення реологічних параметрів нафти і проявлення її аномальних неньютонівських властивостей.

Експериментальна частина роботи полягала у визначенні оптимальної швидкості охолодження нафти, при якій реологічні параметри набудуть мінімально можливих значень і прояв аномальних реологічних властивостей буде мінімізований.

Експеримент можна розбити на дві частини: I – етап підігріву нафти та II – етап її охолодження за певних умов. Відповідно до результатів численних досліджень реологічних властивостей долинської нафти [7] температура підігріву проб прийнята на рівні 60 °C. З метою повного руйнування кристалічної решітки парафіну та враховуючи високі температурні значення високов'язкої нафти, проби останньої термостатували за температури підігріву протягом однієї години. Для знаходження оптимальної швидкості

оохолодження було вибрано діапазон досліджуваних швидкостей оохолодження від 10 до 30 °С/год із кроком 10 °С/год. Швидкості оохолодження долиньської нафти вибирали на основі аналізів досліджень процесів термообробки інших високов'язких швидкозастигаючих нафт [5, 6]. Враховуючи низькі температурні значення після оохолодження нафти, проби останньої термостатували протягом шести годин.

Ступінь покращення реологічних властивостей термообробленої високов'язкої нафти можна оцінити шляхом співставлення реологічних кривих нафти, що не піддавалася термообробці, та нафти після різних способів термообробки. Експериментальне встановлення значень реологічних показників нетермообробленої нафти проводилося без підігрівання після її оохолодження від 20 °С до 0 °С із подальшим термостатуванням протягом шести годин. Швидкість оохолодження нетермообробленої нафти вибрана рівною ймовірній оптимальній швидкості термообробленої нафти. Зведені реологічні криві термообробленої шляхом підігрівання до 60 °С та оохолодження до 0 °С і нетермообробленої високов'язкої долиньської нафти наведено на рисунку.

Аналізуючи графічні залежності реологічних кривих високов'язкої долиньської нафти, отримані за результатами експериментальних досліджень процесу термообробки, можна зробити такі висновки:

високов'язка долиньська нафта піддається технології термообробки, в результаті чого її реологічні параметри суттєво покращуються порівняно з аналогічною нафтою, що не піддається термообробці;

оптимальними параметрами термообробки, що відповідають умовам мінімального прояву аномальних неньютонівських властивостей високов'язкої долиньської нафти, є такі показники:

температура підігріву – +60 °С;  
тривалість термостатування за температури підігріву – одна година;  
швидкість оохолодження – 20 °С/год;  
температура оохолодження – 0 °С;  
тривалість термостатування за температури оохолодження – шість годин.

Здатність долиньської нафти покращувати свої реологічні властивості в результаті термообробки пояснюється перш за все наявністю в ній значної частки асфальто-смолистих речовин, які на етапі структуроутворення кристалічної решітки парафіну відіграють роль поверхнево-активних речовин. Вони взаємодіють із дрібними кристалами парафіну, знижуючи рівень енергетичних зв'язків між ними та структурну міцність загальної дисперсної системи нафта-парафін.

### Висновок

Запропоновану технологію термообробки може бути застосовано для покращення енергоефективності транспортування високов'язкої долиньської нафти по магістральному нафтопроводу Долина–Дрогобич. Однак у подальшому потребує додаткового уточнення оптимальна швидкість оохолодження нафти в частині зниження кроку її пошуку з 10 до 5 °С/год.

Ураховуючи наявність в Україні ряду родовищ високов'язких швидкозастигаючих нафт, доцільно провести аналогічні дослідження для них. Така потреба продиктована також і тим, що вказані нафти транспортуються трубопроводами до Дрогобицького НПЗ, процес перекачування по яких супроводжується такими ж труднощами, що і перекачування долиньської нафти по нафтопроводу Долина – Дрогобич.

### Список використаних джерел

1. **Рогачев М.К.** Реология нефти и нефтепродуктов: [учебное пособие для вузов] / М.К. Рогачев, Н.К. Кондрашев. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. – 89 с.
2. **Химия** нефти и газа: [учебное пособие для вузов] / А.И. Богомолов, А.А. Гайле, В.В. Громова [и др.]; под ред. В.А. Проскурякова, А.Е. Дабкина. – 3-е изд., доп. и испр. – СПб.: Химия, 1995. – 448 с.
3. **Тугунов П.И.** Транспортирование вязких нефтей и нефтепродуктов по трубопроводам / П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов. – М.: Недра, 1973. – 89 с.
4. **Коршак А.А.** Специальные методы перекачки: конспект лекций / А.А. Коршак. – Уфа: Фонд содействия развитию научных исследований, 2000. – 211 с.
5. **Дегтярев В.Н.** Транспорт высоковязких нефтей в Индии / В.Н. Дегтярев, В.С. Диденко // НТС «Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов». – М.: ВНИИОЭНГ. – 1965. – № 1. – С. 30–34.
6. **Мансуров И.М.** Уточнение гидравлического расчета «горячих» трубопроводов / И.М. Мансуров, П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов [и др.]. // Нефтяное хозяйство. – М.: Недра. – 1970. – № 9. – С. 61–62.
7. **Яновський С.Р.** Дослідження впливу температури підігрівання нафти / С.Р. Яновський, М.Д. Середюк, Л.Д. Пилипів // Наук. вісн. ІФН-ТУНГ. – 2008. – № 1 (17). – С. 82–91.

### Автор статті



**Пилипів Любомир  
Дмитрович**

*Кандидат технічних наук,  
доцент кафедри транспорту  
і зберігання нафти і газу Івано-  
Франківського національного  
технічного університету  
нафти і газу. За фахом інженер-  
механік, спеціальність:*

*проектування, спорудження та експлуатація газонафтопроводів, газонафтохранилищ і АГНКС. Коло наукових інтересів: дослідження реологічних властивостей високов'язких нафт і нафтопродуктів, їх вплив та теплогідрравлічні режими транспортування магістральними трубопроводами; дослідження газодинамічних процесів у системах газопостачання населених пунктів.*